

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-119064

(43)Date of publication of application : 27.04.2001

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 11-293311

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO
LTD

(22)Date of filing : 15.10.1999

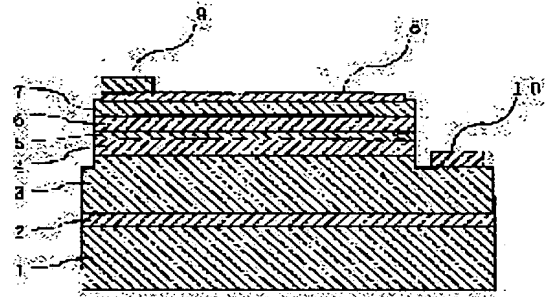
(72)Inventor : KAMEI HIDENORI

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor light-emitting element which has high light-emitting efficiency and a low operating voltage.

SOLUTION: In a p-type layer of a nitride semiconductor light-emitting element, hydrogen concentration is reduced when a p-type contact layer 7 is grown to increase an activation rate of p-type impurities. Also, the hydrogen concentration is increased, when a p-type clad layer 6 is grown to maintain high crystallinity. Thus, overall coordination of electrical characteristics and crystallinity in the p-type layers is achieved.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-119064

(P2001-119064A)

(43) 公開日 平成13年4月27日 (2001.4.27)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

テームト^{*}(参考)

C 5 F 0 4 1

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願平11-293311

(22) 出願日

平成11年10月15日 (1999. 10. 15)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 亀井 英徳

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74) 代理人 100097445

弁理士 岩橋 文雄 (外 2 名)

Fターム(参考) 5F041 AA04 AA21 AA40 AA43 CA05

CA33 CA34 CA40 CA46 CA53

CA57 CA65 CA73 CA74 CA76

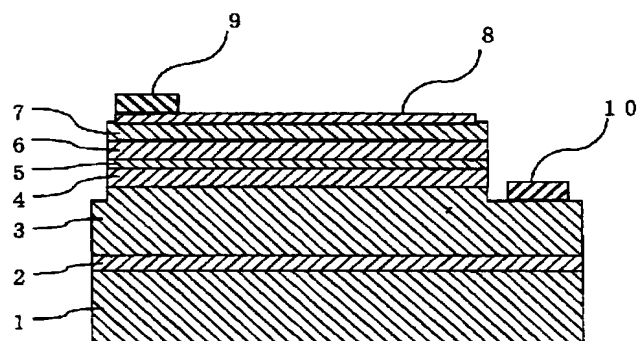
CA82 CA88 CA92 DA07 DA43

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 発光効率が高く、動作電圧が低い窒化物半導体発光素子を提供することを目的とする。

【解決手段】 窒化物半導体発光素子の p 型層において、p 型コンタクト層 7 の成長時の水素濃度を小さくして、p 型不純物の活性化率を高め、p 型クラッド層 6 の成長時の水素濃度を大きくして、結晶性を高く保つことで、p 型層における電気的特性と結晶性の調和を総合的に図る。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 n 型層と、発光層と、 p 型層とが順に積層された積層構造と、前記 p 型層に接して形成された p 側電極と、を備えた窒化物半導体発光素子において、前記 p 型層が、前記 p 側電極に接する側に設けられた第 1 の p 型層と、前記第 1 の p 型層よりも前記 p 側電極から遠い側に設けられた第 2 の p 型層との少なくとも二つの p 型層からなり、前記第 1 の p 型層内に存在する p 型不純物元素に対する水素元素の比率が、前記第 2 の p 型層内に存在する p 型不純物元素に対する水素元素の比率より小さいことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項 2】 前記 p 型層が有機金属気相成長法により形成され、前記第 1 の p 型層を形成する際に反応管内に供給する全ガス中の水素濃度を、前記第 2 の p 型層を形成する際に反応管内に供給する全ガス中の水素濃度より小さくすることにより形成したことを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 3】 前記第 1 の p 型層の厚さが 5 nm 以上、且つ 100 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は発光ダイオードや半導体レーザダイオード等の光デバイスに利用される窒化物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 3 族元素として Al、Ga、In 等を含み、5 族元素として N 等を含む AlGaInN で表される窒化物半導体は、可視光発光デバイスや高温動作電子デバイス用の半導体材料として多用されるようになっており、青色や緑色の発光ダイオードの分野での実用化や青紫色のレーザダイオードの分野での展開が進んでいる。

【0003】 この窒化物半導体を用いた発光素子の製造においては、有機金属気相成長法によって窒化物半導体薄膜結晶を成長させるのが近來では主流である。この方法は、サファイアや SiC、GaN 等からなる基板を設置した反応管内に 3 族元素の原料ガスとして有機金属化合物ガス（トリメチルガリウム（以下、「TMG」と略称する。）、トリメチルアルミニウム（以下、「TMA」と略称する。）、トリメチルインジウム（以下、「TMI」と略称する。）等）と、5 族元素の原料ガスとしてアンモニアやヒドラジン等を供給し、基板温度をおよそ 700℃～1100℃の高温で保持して、基板上に n 型層と発光層と p 型層とを成長させてこれらを積層形成するというものである。n 型層の成長時には n 型不純物原料ガスとしてモノシラン（SiH₄）やゲルマン（GeH₄）等を、p 型層の成長時には p 型不純物原料ガスとしてシクロペンタジエニルマグネシウム（Cp₂Mg）やジメチル亜鉛（Zn（CH₃）₂）等を 3 族元素

の原料ガスと同時に流しながら成長させる。そして、この成長形成の後、n 型層の表面および p 型層の表面のそれぞれに n 側電極および p 側電極を形成し、チップ状に分離することによって、発光素子を得ることができる。

【0004】 窒化物半導体は、従来 p 型伝導が得られ難くかったが、近年、電子線照射法やアニール法により、p 型伝導の制御が可能となった。これらの方法によれば、p 型不純物をドーブした窒化物半導体を成長した後、電子線照射やアニールにより、p 型不純物と結合して p 型不純物を不活性化している水素と p 型不純物との結合を切り、窒化物半導体中から水素を放出することで、p 型不純物を活性化してアクセプターとして機能させることにより、窒化物半導体を p 型化できる。特にアニール法は、設備的に簡便であり、所要時間も短く、窒化物半導体の深さ方向にも均一に p 型化でき、実用的な製造方法とされている。

【0005】 しかし、このアニール法においては、熱処理の際に窒化物半導体の表面から酸素や炭素等の不純物が窒化物半導体膜中に侵入し易く、特に表面付近に多く存在することになる。又、p 型不純物と水素の結合を切って水素を膜中から追い出す際に完全に追い出すことができず、表面付近に水素が偏在することになる。このように表面付近に水素、酸素、炭素等が存在する p 型窒化物半導体に電極を形成した場合、良好なオーミック特性を有する電極が形成できないという問題があった。

【0006】 この問題を解決する方法として、特開平 10-135575 に開示されているように、p 型不純物をドーブした窒化物半導体の気相成長中に、反応管の雰囲気ガスにキャリアガスとして含まれる水素の量を低減することによって、p 型不純物と水素の結合の形成を抑制し、as-grown で p 型伝導を得る方法が提案されている。また、Appl. Phys. Lett. Vol. 72 No. 14 p. 1748 (1998) には同一研究グループによる詳細な実験結果が示されており、水素濃度が 2.4 % 以下で良好な p 型が得られている（水素濃度が 3.7 % 以上では水素による不活性化が生じている。）。)

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記のようにキャリアガス中の水素濃度が小さい条件で窒化物半導体を成長すると、半導体結晶表面での原子のミグレーションが抑制され、水素濃度が高い場合に比べて結晶性が劣化し易い。従って、キャリアガス中の水素濃度が小さい条件で一律に p 型層全体を形成すると、特に p 型層の上層部において結晶性が低下し、p 型層の最表面に形成する p 側電極との間で良好なオーミック接触が得られ難く、素子の発光特性に悪影響を及ぼすという問題がある。

【0008】 本発明において解決すべき課題は、p 型層における p 型電気特性と結晶性の調和を総合的に図り、

発光特性に優れ、良好なオーミック接触が実現できる窒化物半導体発光素子を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、p型層の構成について鋭意検討を行った。その結果、p型層を少なくとも二つの層で形成し、p側電極に接する側に設けられた第1のp型層を水素濃度の小さい雰囲気ガス中で形成し、第1のp型層よりもp側電極から遠い側に設けられた第2のp型層を第1のp型層よりも水素濃度の大きい雰囲気ガス中で形成することにより、第2のp型層では結晶性を高く保つことができ、第1のp型層ではp型不純物の活性化率を高く保つことができることを見出した。

【0010】このような構成によれば、p型層におけるp型電気特性と結晶性を両立した発光素子の実現が可能となる。

【0011】

【発明の実施の形態】請求項1に記載の発明は、n型層と、発光層と、p型層とが順に積層された積層構造と、前記p型層に接して形成されたp側電極と、を備えた窒化物半導体発光素子において、前記p型層が、前記p側電極に接する側に設けられた第1のp型層と、前記第1のp型層よりも前記p側電極から遠い側に設けられた第2のp型層との少なくとも二つのp型層からなり、前記第1のp型層内に存在するp型不純物元素に対する水素元素の比率が、前記第2のp型層内に存在するp型不純物元素に対する水素元素の比率より小さいことを特徴とする窒化物半導体発光素子であり、第1のp型層において第2のp型層よりもp型不純物の活性化率を高くすることができ、p型層とp側電極のオーミック接触抵抗を低減することができる。

【0012】請求項2に記載の発明は、前記p型層が有機金属気相成長法により形成され、前記第1のp型層を形成する際に反応管内に供給する全ガス中の水素濃度を、前記第2のp型層を形成する際に反応管内に供給する全ガス中の水素濃度より小さくすることにより形成したことを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子であり、第1のp型層の下地層となる第2のp型層の結晶性を高く保つことができる。

【0013】請求項3に記載の発明は、前記第1のp型層の厚さが5nm以上、且つ100nm以下であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の窒化物半導体発光素子であり、第1のp型層における結晶性の低下を最小限に抑えることができる。

【0014】以下に、本発明の実施の形態の具体例を、図面を参照しながら説明する。

【0015】図1は本発明の一実施の形態に係る窒化物半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【0016】本実施の形態においては、第1のp型層はp型クラッド層6、第2のp型層はp型コンタクト層7

に対応する。

【0017】図1において、基板1の上に、バッファ層2を介して、n型コンタクト層3と、n型クラッド層4と、発光層5と、第1のp型層としてp型クラッド層6と、第2のp型層としてp型コンタクト層7と、が順次積層されている。p型コンタクト層7のほぼ全面に光透過性電極8が形成され、光透過性電極8の上にワイヤボンディングのためのp側電極9が形成されている。p型コンタクト層7の一部の表面からn型コンタクト層3に達する深さでエッチングされ露出されたn型コンタクト層3の表面にはn側電極10が形成されている。

【0018】基板1には、サファイア、Ga₂N、SiC等を使用することができる。

【0019】バッファ層2には、Ga₂N、Al₂N、AlGa₂N、InGa₂N等を用いることができ、例えば、900℃以下の温度で、数nmから数十nmの厚さで形成されたものを好ましく用いることができる。ここで、バッファ層2は、基板1とその上に形成される窒化物半導体からなる積層構造との間の格子不整合を緩和する作用を有するものであるため、Ga₂Nのように、その上に形成される窒化物半導体との格子定数が近い基板を用いる場合は、成長方法や成長条件にもよるが、バッファ層2の形成を省略することも可能である。

【0020】n型コンタクト層3は、窒化物半導体で形成され、特にGa₂NやAlGa₂Nで形成されることが好ましい。窒化物半導体は、n型不純物がドーピングされていないアンドープの状態でもn型導電性を示す傾向にあるが、特にn側電極10を設けるためのn型コンタクト層として用いる場合には、SiやGe等のn型不純物がドーピングされたGa₂Nを用いると、電子濃度が高いn型層が得られ、n側電極10との接触抵抗を小さくすることが可能である。

【0021】n型クラッド層4は、窒化物半導体で形成され、SiやGe等のn型不純物がドーピングされたAl_{1-a}Ga_{1-a}N（但し、0 ≤ a ≤ 1）で形成されることが好ましいが、発光ダイオードの場合には、n型クラッド層4の形成を省略することも可能である。

【0022】発光層5は、n型クラッド層4のバンドギャップより小さいバンドギャップを有する窒化物半導体で形成される。特に、インジウムを含む窒化物半導体、すなわちIn_pAl_{1-q}Ga_{1-p-q}N（但し、0 < p ≤ 1、0 ≤ q ≤ 1、0 < p + q ≤ 1）で形成され、その中でもIn_bGa_{1-b}N（但し、0 < b < 1）で形成されることが好ましい（以下、本明細書において、In_bGa_{1-b}Nまたは同様に添字を伴った表現により示される窒化物半導体を単にInGa₂Nとすることがある。）。発光層5は、n型不純物とp型不純物を同時に、またはそれらのいずれか一方のみをドーピングすることにより所望の発光波長を得る構成とすることもできるが、膜厚を約10nm以下と薄くした層を用いて量子井戸構造とした構成とす

ることにより、色純度が良くかつ発光効率の高い発光層5とすることが特に好ましい。発光層5を量子井戸構造とする場合、InGa_Nからなる井戸層を、井戸層よりもバンドギャップの大きな障壁層で挟んだ単一量子井戸構造としても良く、この場合には、障壁層を発光層の両側に形成されるp型およびn型クラッド層で兼用することが可能である。また、井戸層と障壁層を交互に積層させた多重量子井戸構造としても良い。

【0023】p型クラッド層6は、発光層5のバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する窒化物半導体で形成され、特にMg等のp型不純物がドーブされたIn_uAl_vGa_{1-u-v}N（但し、 $0 \leq u < 1$ 、 $0 \leq v < 1$ 、 $0 \leq u + v < 1$ ）で形成されることが好ましい。通常、p型クラッド層6は、結晶性良く形成させるために、発光層5の成長に適した温度よりも高い成長温度で形成されることが多く、このため、発光層5の成長後、p型クラッド層6の成長に適した温度にまで昇温させる間において、発光層5を構成するインジウムや窒素等の構成元素の解離等により発光層5の結晶性の劣化が生じることがある。そこで、p型クラッド層6の発光層5に接する側の一部を、発光層5を成長後に昇温させながら連続して成長形成し、p型クラッド層6の成長温度において、引き続いて残りのp型クラッド層6を成長させると、発光層5の結晶性の劣化を効果的に防止することが可能となる。このとき、昇温させながら成長させるp型クラッド層6の一部は、In_xAl_yGa_{1-x-y}N（但し、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq x + y < 1$ 、 $v < y$ ）、特にGa_Nで形成されることが好ましい。発光層5に接して形成され、クラッド層としての作用を十分達成することができると同時に、発光層5の構成元素の解離等による結晶性の劣化を防止する効果を高めることができるからである。

【0024】p型コンタクト層7は、p型不純物がドーブされた窒化物半導体で形成される。特に、p型コンタクト層7の表面上に形成されるp側電極9との接触抵抗を低減させるために、p型クラッド層6よりもバンドギャップが小さく、Mg等のp型不純物がドーブされたIn_cGa_{1-c}N（但し、 $0 \leq c \leq 1$ ）で形成することが好ましい。

【0025】p型不純物としては、Mg、Zn、Be、Cd等が使用できるが、容易にp型伝導が得られ易く、取り扱いも容易なMgを使用することが好ましい。

【0026】ここで、p型クラッド層6とp型コンタクト層7は、有機金属気相成長法による成長時に、p型コンタクト層7を成長する際に反応管内に供給する全ガス中の水素濃度が、p型クラッド層6を成長する際に反応管内に供給する全ガス中の水素濃度より小さくなるように成長することにより、p型コンタクト層7におけるp型不純物元素に対する水素元素の比率が、p型クラッド層6におけるp型不純物元素に対する水素元素の比率よ

り小さくなるように調整されている。

【0027】p型クラッド層6の成長時の反応管内の雰囲気ガス中の水素濃度は、0～50%の範囲とすることができ、より好ましくは、10～20%である。水素濃度をこの範囲にすることにより、膜中におけるp型不純物元素に対する水素元素の比率を概略1以下に抑え、p型不純物がアクセプターとして活性化されやすくと同時に、膜成長時の表面での原子のマイグレーションを促進し、膜の結晶性を高めることができる。これにより、良好なp型伝導性を維持しながら、p型コンタクト層7の下地層として良好な結晶性を提供することができる。

【0028】一方、p型コンタクト層7の成長時の反応管内の雰囲気ガス中の水素濃度は、0～20%の範囲とすることができるが、より好ましくは、0～5%である。水素濃度をこの範囲にすることにより、膜中におけるp型不純物元素に対する水素元素の比率を概略0.5以下に抑えることができ、p型クラッド層6に比較してp型不純物がアクセプターとしてさらに活性化されやすくなる。これにより、p型コンタクト層7の表面上に形成するp側電極9とのオーミック接触抵抗を小さく抑えることができ、素子の動作電圧を低減し、発光出力を高めるとともに、信頼性を高めることができるという効果がある。

【0029】p型コンタクト層7は、その膜厚を5nm以上、且つ100nm以下とすることが好ましい。膜厚が5nm以下では、p型コンタクト層7としての機能を果たさなくなり、p側電極9とのオーミック接触抵抗が増大する。一方、膜厚が100nm以上では、成長時の反応管内の雰囲気ガス中の水素濃度が小さいため、膜の結晶性が低下する傾向となり、同じくp側電極9とのオーミック接触抵抗が増大する。

【0030】上記のように基板1の上に成長形成された窒化物半導体からなる積層構造は、成長後にp型不純物の活性化のためのアニール等を別途に行う必要はないが、もしアニールを行う場合は、酸素や炭素による汚染を防ぐために、清浄な雰囲気中で、かつ短時間に行う必要がある。

【0031】

【実施例】以下、本発明の窒化物半導体発光素子の製造方法の具体例について図面を参照しながら説明する。

【0032】（実施例1）図2は本発明の実施例1に係る窒化物半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【0033】本発明の第1の実施例である窒化物半導体発光素子の製造方法について図2を参照しながら説明する。

【0034】まず、表面を鏡面に仕上げられたサファイアの基板1を反応管内の基板ホルダーに載置した後、基板1の温度を1000℃に保ち、窒素を5リットル/分、水素を5リットル/分、で流しながら基板を10分

間加熱することにより、基板1の表面に付着している有機物等の汚れや水分を取り除いた。

【0035】次に、基板1の温度を550℃にまで降下させ、キャリアガスとして窒素を16リットル/分で流しながら、アンモニアを4リットル/分、TMGを40 μmol /分、で供給して、Ga_{0.8}Nからなるバッファ層2を25nmの厚さで成長させた。

【0036】次に、TMGの供給を止めて1050℃まで昇温させた後、キャリアガスとして窒素と水素を各々13リットル/分と3リットル/分で流しながら、アンモニアを4リットル/分、TMGを80 μmol /分、10ppm希釈のSiH₄を10cc/分、で供給して、SiをドーブしたGa_{0.8}Nからなるn型コンタクト層3を2 μm の厚さで成長させた。このようにして成長したn型コンタクト層3の電子濃度は、 $1.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ であった。

【0037】n型コンタクト層3を成長後、TMGとSiH₄の供給を止め、基板温度を750℃にまで降下させ、750℃において、キャリアガスとして窒素を14リットル/分で流しながら、アンモニアを6リットル/分、TMGを4 μmol /分、TMIを5 μmol /分、で供給して、アンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}Nからなる単一量子井戸構造の発光層5を2nmの厚さで成長させた。

【0038】発光層5を成長後、TMIの供給を止め、TMGを流しながら基板温度を1050℃に向けて昇温させながら、引き続きアンドープのGa_{0.8}N（図示せず）を4nmの厚さで成長させ、基板温度が1050℃に達したら、キャリアガスとして窒素と水素を各々15リットル/分と3リットル/分で流しながら、アンモニアを2リットル/分、TMGを40 μmol /分、TMAを3 μmol /分、Cp₂Mgを0.1 μmol /分、で供給して、MgをドーブさせたAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型クラッド層6を0.2 μm の厚さで成長させた。このとき、反応管内における雰囲気ガス中の水素の濃度は15%であった。このようにして成長したp型クラッド層6は、Mg濃度が約 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、水素濃度が約 $8 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ であった。

【0039】p型クラッド層6を成長後、TMAの供給を止め、キャリアガスとして窒素と水素を各々15.2リットル/分と0.8リットル/分で流しながら、アンモニアを4リットル/分、TMGを80 μmol /分、Cp₂Mgを0.2 μmol /分、で供給して、MgをドーブさせたGa_{0.8}Nからなるp型コンタクト層7を50nmの厚さで成長させた。このとき、反応管内における雰囲気ガス中の水素の濃度は4%であった。このようにして成長したp型コンタクト層7は、Mg濃度が約 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、水素濃度が約 $4 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ であった。

【0040】p型コンタクト層7を成長後、TMGとC

p₂Mgの供給を止め、窒素を16リットル/分、アンモニアを4リットル/分、で流しながら、基板の温度を室温程度にまで冷却させて、基板の上に窒化物半導体が積層されたウェハーを反応管から取り出した。

【0041】尚、有機金属化合物であるTMGと、TMIと、TMAと、Cp₂Mgはすべて水素キャリアガスによって気化することで、反応管に供給した。

【0042】このようにして形成した窒化ガリウム系化合物半導体からなる積層構造に対して、別途アニールを施すことなく、その表面上に、蒸着法により、ニッケル(Ni)と金(Au)をそれぞれ5nmの厚さで全面に積層した後、フォトリソグラフィ法とウェットエッチング法により、光透過性電極8を形成した。

【0043】この後、光透過性電極8と露出したp型コンタクト層7の上にCVD法によりSiO₂からなる絶縁膜（図示せず）を0.5 μm の厚さで堆積させ、フォトリソグラフィ法と反応性イオンエッチング法により、光透過性電極8を覆うと同時にp型コンタクト層7の表面の一部を露出させる絶縁膜からなるマスクを形成した。

【0044】次に、上記のマスクを用いて、塩素系ガスを用いた反応性イオンエッチング法により、露出させたp型コンタクト層7の表面側から、p型コンタクト層7とp型クラッド層6と発光層5を約0.3 μm の深さで除去して、n型コンタクト層3の表面を露出させた。

【0045】上記の工程の後、一旦、絶縁膜をウェットエッチング法により除去して、蒸着法およびフォトリソグラフィ法により、光透過性電極8の表面上の一部と、露出させたn型コンタクト層3の表面の一部とに、0.1 μm 厚のチタン(Ti)と0.5 μm 厚のAuを積層して、それぞれp側電極9とn側電極10とした。その後、プラズマCVD法とフォトリソグラフィ法により、光透過性電極8の表面を被覆する0.2 μm 厚のSiO₂からなる絶縁性膜（図示せず）を形成した。

【0046】この後、サファイアの基板1の裏面を研磨して100 μm 程度にまで薄くし、スクライブによりチップ状に分離した。このチップを電極形成面側を上向きにしてステムに接着した後、チップのp側電極9とn側電極10をそれぞれステム上の電極にワイヤで結線し、その後樹脂モールドして発光ダイオードを作製した。この発光ダイオードを20mAの順方向電流で駆動したところ、ピーク波長470nmの青色で発光した。このときの発光出力は1.8mWであり、順方向動作電圧は3.5Vであった。

【0047】（比較例1）比較のために、上記実施例1において、p型クラッド層6を成長する際に、キャリアガスとして窒素と水素を各々17.2リットル/分と0.8リットル/分で流しながら、アンモニアを2リットル/分、TMGを40 μmol /分、TMAを3 μmol /分、Cp₂Mgを0.1 μmol /分、で供給し

て、MgをドーブさせたAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型クラッド層6を0.2μmの厚さで成長させた。このとき、反応管内における雰囲気ガス中の水素の濃度は、p型コンタクト層7の成長時と同じく、4%であった。このようにして成長したp型クラッド層6は、Mg濃度が約 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、水素濃度が約 $4 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。これ以外は上記実施例1と同様の手順で発光ダイオードを作製した。この発光ダイオードを20mAの順方向電流で駆動したところ、ピーク波長470nmで発光し、発光出力は1.1mWであり、順方向動作電圧は3.9Vであった。

【0048】実施例1における窒化物半導体の積層構造におけるX線回折ロックンギングカーブの半値幅が約260秒であったのに対して、比較例1の場合は半値幅が約330秒と大きくなっており、結晶性が低下していた。

【0049】（比較例2）さらに比較のために、上記実施例1において、p型コンタクト層7を成長する際に、キャリアガスとして窒素と水素を各々13リットル/分と3リットル/分で流しながら、アンモニアを4リットル/分、TMGを80μmol/分、Cp₂Mgを0.2μmol/分、で供給して、MgをドーブさせたGaNからなるp型コンタクト層7を50nmの厚さで成長させた。このとき、反応管内における雰囲気ガス中の水素の濃度は、p型クラッド層6と同じく、15%であった。このようにして成長したp型コンタクト層7は、Mg濃度が約 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、水素濃度が約 $8 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。これ以外は上記実施例1と同様の手順で発光ダイオードを作製した。この発光ダイオードを20mAの順方向電流で駆動したところ、ピーク波長470nmで発光し、発光出力は0.9mWであり、順方向動作電圧は4.2Vであった。

【0050】比較例2における窒化物半導体の積層構造におけるX線回折ロックンギングカーブの半値幅は約250秒であった。

【0051】（実施例2）図3は本発明の実施例2に係る窒化物半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【0052】本発明の実施例2である窒化物半導体発光素子の製造方法について図3を参照しながら説明する。

【0053】実施例2においては、上記実施例1において、p型クラッド層6を、MgをドーブさせたAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる第1のp型クラッド層61と、MgをドーブさせたGaNからなる第2のp型クラッド層62と、の複層とした以外は、上記実施例1と同様の手順で発光ダイオードを作製した。

【0054】具体的には、上記実施例1と同様の手順で発光層5までを成長後、TMIの供給を止め、TMGを流しながら基板温度を1050℃に向けて昇温させながら、引き続きアンドープのGaN（図示せず）を4nmの厚さで成長させ、基板温度が1050℃に達したら、キャリアガスとして窒素と水素を各々15リットル/分

と3リットル/分で流しながら、アンモニアを2リットル/分、TMGを40μmol/分、TMAを3μmol/分、Cp₂Mgを0.1μmol/分、で供給して、MgをドーブさせたAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる第1のp型クラッド層61を0.1μmの厚さで成長させた。このとき、反応管内における雰囲気ガス中の水素の濃度は15%であった。このようにして成長した第1のp型クラッド層61は、Mg濃度が約 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、水素濃度が約 $8 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。

【0055】次に、TMAの供給を止め、キャリアガスとして窒素と水素を各々13リットル/分と3リットル/分で流しながら、アンモニアを4リットル/分、TMGを80μmol/分、Cp₂Mgを0.2μmol/分、で供給して、MgをドーブさせたGaNからなる第2のp型クラッド層62を0.1μmの厚さで成長させた。このとき、反応管内における雰囲気ガス中の水素の濃度は15%であった。このようにして成長した第2のp型クラッド層62は、Mg濃度が約 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、水素濃度が約 $8 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。

【0056】このようにして、第1のp型クラッド層61と第2のp型クラッド層62の複層からなるp型クラッド層6を形成した以外は、上記実施例1と同様の手順で発光ダイオードを作製した。この発光ダイオードを20mAの順方向電流で駆動したところ、ピーク波長470nmの青色で発光した。このときの発光出力は1.8mWであり、順方向動作電圧は3.4Vであった。

【0057】実施例2における窒化物半導体の積層構造におけるX線回折ロックンギングカーブの半値幅は約260秒であった。

【0058】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、p側電極に接する側に設けられた第1のp型層の成長時の水素濃度を小さくすることで、第1のp型層のp型不純物の活性化率を高め、第1のp型層よりp側電極から遠い側に設けられた第2のp型層の成長時の水素濃度を第1のp型層に比して大きくすることで、第1のp型層の下地層となる第2のp型層の結晶性を高く保つことにより、窒化物半導体発光素子において、発光出力を向上し、動作電圧を低減することができるという優れた効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態に係る窒化物半導体発光素子の構造を示す断面図

【図2】本発明の実施例1に係る窒化物半導体発光素子の構造を示す断面図

【図3】本発明の実施例2に係る窒化物半導体発光素子の構造を示す断面図

【符号の説明】

- 1 基板
- 2 バッファ層

(7)

特開2001-119064

11

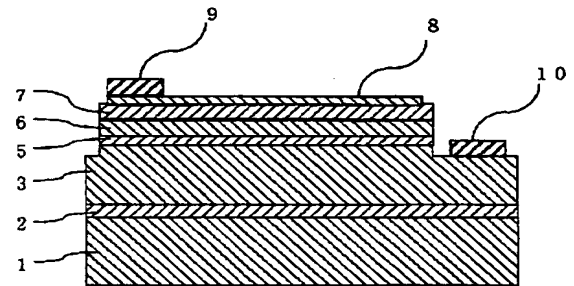
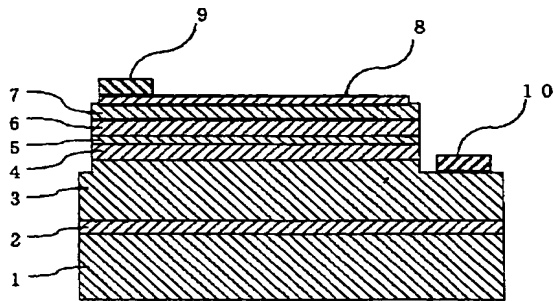
12

- 3 n型コンタクト層
- 4 n型クラッド層
- 5 発光層
- 6、61、62 p型クラッド層

- 7 p型コンタクト層
- 8 光透過性電極
- 9 p側電極
- 10 n側電極

【図1】

【図2】



【図3】

